

Bioagro 30(2): 107-116. 2018

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA E HISTOLÓGICA DE ÁPICES DE RAÍZ DE PORTAINJERTOS DE AGUACATE Y SU RESISTENCIA A FACTORES ADVERSOS EN EL SUELO

Elizabeth Meza-Castillo¹, Alejandro F. Barrientos-Priego^{1*}, Juan E. Rodríguez-Pérez¹,
Juan C. Reyes-Alemán², Michal W. Borys³ y María de la C. Espíndola-Barquera⁴

RESUMEN

Los ápices de raíz son elementos indispensables para la planta por la relación que mantienen con las condiciones edáficas, tanto bióticas como abióticas. Por ello, sus características morfológicas y anatómicas fueron objeto de estudio en genotipos clonales de aguacate para agruparlos y determinar si existen características que se correspondan con la capacidad de resistencia a factores adversos en el suelo. Se usaron plantas clonadas de 90 días de edad, en un diseño completamente al azar con tres repeticiones, donde se evaluó un total de 32 características en ápices, tejidos, cofias y células. De las 32 variables quedaron seleccionadas 12 a las que se aplicó un análisis de agrupamiento que generó un dendrograma jerárquico y sugirió cuatro grupos, los cuales fueron corroborados mediante un análisis discriminante canónico. Se encontró que el área de la cofia, distancia del punto extremo radical hasta el inicio del cilindro vascular y grosor de la corteza influyeron en la agrupación. El Grupo 1 se caracterizó por ápices medianamente delgados pero agudos, el Grupo 2 por ápices gruesos e igualmente agudos, el Grupo 3 por ápices delgados, pero ligeramente aplanados, y el Grupo 4 por ápices gruesos y redondos. No existieron agrupaciones claras de genotipos que tengan adaptación bajo condiciones adversas en el suelo basadas en las características asociadas con la protección radical.

Palabras clave adicionales: Anatomía, ápice radical, cilindro vascular radical, cofia, corteza radical, *Persea americana*

ABSTRACT

Morphologic and histological characterization of root apex of avocado rootstocks and its resistance to soil adverse factors

The root apex is essential in the relationships that it has with the soil conditions. Therefore, a root morphological and anatomical study was carried out in avocado clonal genotypes for grouping, and to determinate characteristics that could correspond to adaptation to biotic or abiotic adverse soil factors. Clonal 90 day-old plants were used, in a randomized design with tree replicates, where 32 characteristics of root apex, tissue, cap and cells were measured. From 12 selected variables, a grouping analysis was carried out that generated a hierarchical dendrogram and suggested the formation of four groups, that were corroborated by a canonical discriminative analysis. The cap area, distance between root apex and vascular cylinder and cortex width showed influence on grouping. The Group 1 was characterized by a medium thin apex, but with close angle, Group 2 had thick apex with close angle, Group 3 thin and slightly flat apex, and Group 4 thick rounded apex. There were no clear genotypes grouping according to their adaptation to adverse soil conditions, based on the characteristics supposed to be associated to root protection.

Additional key words: Anatomy, *Persea americana*, root apex, root cap, root cortex, vascular cylinder

INTRODUCCIÓN

El rendimiento del aguacate en México fluctúa alrededor de 10,2 Mg·ha⁻¹ (SIAP, 2017), el cual se considera bajo en comparación con el de otros

países, y uno de los problemas que limita la productividad es la falta de portainjertos adecuados para diferentes condiciones de suelo (Barrientos, 2017); por lo que es necesario la identificación de materiales clonales que permitan

Recibido: Octubre 2, 2017

Aceptado: Abril 4, 2018

¹ Dpto. de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México CP 56230. e-mail: meelyc@gmail.com; abarrien@correo.chapingo.mx (*autor para correspondencia); erodriguezx@yahoo.com.mx

² Centro Universitario UAEM Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México. Tenancingo, México. e-mail: jcreyea@uaemex.mx

³ Agronomía-Recursos Naturales, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Puebla. CP 72410. e-mail: michal.borys@upaep.mx

⁴ Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX. CP 51700. México. e-mail: mespindolab@gmail.com

el desarrollo productivo del cultivar bajo condiciones desfavorables de suelo.

En países como Estados Unidos, Israel, Sudáfrica y Australia, el uso de portainjertos clonales se está incrementando cada día más, mientras que en América Latina la adopción de éstos queda pendiente, siendo una opción importante para potenciar la productividad de los huertos. Además, recientemente en México se están estableciendo huertos en condiciones de suelos marginales, lo que trae nuevos retos tanto de manejo como en la búsqueda de materiales que se adapten a tales condiciones (Barrientos, 2017) y se vislumbra en un futuro la necesidad de contar con estos portainjertos clonales (Campos y Bautista, 2001).

Las funciones del sistema radical del portainjerto tienen gran importancia cuando éste se encuentra en condiciones edáficas desfavorables, principalmente las raíces jóvenes encargadas de la absorción y crecimiento, cuyos ápices quedan expuestos a tales condiciones. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron evaluar características anatómicas y morfológicas de ápices de raíz adventicia de 18 genotipos clonados de aguacate para proponer agrupaciones

de acuerdo con similitud conforme a éstas, así como determinar posibles rasgos que correspondan a la capacidad de resistencia hacia algún factor edáfico adverso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se obtuvieron genotipos clonales de aguacate (Cuadro 1) a partir de la técnica desarrollada por Frolich y Platt (1971). Para esto, se sembraron semillas del genotipo ‘Filtro Negro’, que generó plantas que pudieron injertarse en poco tiempo (30 a 45 días) y cuando los tallos alcanzaron 0,5 cm de diámetro se procedió a su injertación.

Una vez que las yemas del injerto brotaron (25 días en promedio) se introdujo la planta en una cámara oscura hasta que los vástagos desarrollaron 20 cm (20 a 35 días). Posteriormente, en la base del tallo del vástago se realizaron dos ligeras hendiduras opuestas y con un pincel se le aplicó ácido indol-3-butírico ($10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$). Se cubrió la zona etiolada con una bolsa de polietileno que se llenó con sustrato desinfectado. A los 90 días se separó el vástago enraizado de la planta nodriza.

Cuadro 1. Genotipos de aguacate utilizados en el estudio de ápices de raíces adventicias

| Genotipo | Origen | Raza | Tolerancia o Resistencia |
|-------------------|---------------------|---|--|
| ‘P.A. 105’ | Sinaloa, México | Antillana | Salinidad ⁽¹⁾ |
| ‘P.A. 125’ | Sinaloa, México | Antillana | Salinidad ⁽¹⁾ |
| ‘P.A. 136’ | Sinaloa, México | Antillana | Salinidad ⁽¹⁾ |
| ‘Tantima II’ | Veracruz, México | Antillana | Salinidad ⁽¹⁾ |
| ‘Day’ | Florida, USA | Antillana x Guatemalteco | <i>Phytophthora cinnamomi</i> , salinidad, suelo calcáreo y sequía |
| ‘Antigua’ | Veracruz, México | Antillana | <i>P. cinnamomi</i> , salinidad, suelo calcáreo y sequía |
| ‘Tantima III’ | Veracruz, México | No determinado | No se conoce |
| ‘Duke 7’ | California, USA | Mexicana | <i>P. cinnamomi</i> |
| ‘Thomas’ | California, USA | Mexicana | <i>P. cinnamomi</i> |
| ‘Telez 1’ | Puebla, México | Mexicana | No se conoce |
| ‘Tepetl’ | Estado de México | Mexicana | <i>Roselliniane catrix</i> ⁽¹⁾ |
| ‘Derrumbe’ | Puebla, México | Mexicana | Progenie resistente a <i>P. cinnamomi</i> |
| ‘Martin Grande c’ | Guatemala | <i>P. shiedeana</i> x <i>P. americana</i> | <i>P. cinnamomi</i> |
| ‘Amatenago 4’ | Amatenango, Chiapas | Guatemalteco | No se conoce |
| ‘Hass’ | California, USA | Híbrido | Susceptible ⁽²⁾ |
| ‘Fuerte’ | Puebla, México | Híbrido | Susceptible ⁽²⁾ |
| ‘Colín V-33’ | Estado de México | Segregante de ‘Fuerte’ | Susceptible ⁽¹⁾ |
| ‘257 PTB’ | Estado de México | Segregante | Salinidad ⁽¹⁾ |

⁽¹⁾No se han evaluado formalmente. ⁽²⁾Susceptible a *P. cinamonmi* Rands (Neilsen, 2016)

La unidad experimental correspondió a un vástago enraizado de 90 días. El diseño

experimental fue completamente al azar con tres repeticiones (plantas), usando como unidad

experimental cinco ápices de raíces adventicias.

Características evaluadas. De cada repetición se obtuvieron cinco ápices de raíz, de aproximadamente 1 cm de longitud, que se fijaron en una solución 2:1 (ácido acético:alcohol), y se tomaron fotografías digitales en microscopio estereoscópico para después ser evaluadas. Posteriormente, siguiendo metodología empleada por González et al. (2011) se procesaron en un cambiador automático de tejidos (Tissuematon Fisher) con solvente cellosolve y xileno, en el que se realizó la fijación, deshidratación y purificación del tejido para transferirse a parafina (55 °C) y permanecer 72 horas dentro de una estufa. Se elaboró el taquete y pirámide de parafina de acuerdo con Sass (1968). En un micrótomoto rotatorio (American Optical modelo 820) se realizaron cortes longitudinales con un grosor de 10 µm hasta alcanzar la parte media de la misma y así asegurar una observación uniforme en cada uno, los cuales se montaron con adhesivo Haup y formol al 10 % y fueron teñidos con safranina y verde fijo.

Se obtuvieron, de cada repetición, los mejores cortes histológicos de la parte media para evaluar tejidos, cofia y células con grandes vacuolas (según Phillips et al., 1987). Se seleccionaron cinco células al azar, en una superficie comprendida entre el punto extremo de la raíz hasta una distancia vertical de 9000 µm y se

tomaron fotografías digitales en un microscopio óptico a 100X. Las fotografías fueron procesadas y analizadas con el programa Image Tool 3.0 (Wilcox et al., 2002).

La evaluación de las características correspondientes al ápice se realizó en imágenes digitales obtenidas con el microscopio estereoscópico (25X) y analizadas como se señaló anteriormente. Se evaluaron 32 características del ápice, nueve de las cuales fueron las siguientes variables morfológicas (Figura 1): 1) área proyectada del ápice (AP-A), delimitada por los punto a y b a partir de donde se observó la desviación de la curva con respecto a la recta, según apreciación personal en cada uno de los lados del ápice; se partió de estos puntos y se proyectó una línea por fuera de cada cara en dirección a la parte distal hasta que ambas se cortaran, y junto a la recta a-b conformaron un área triangular; 2) área del ápice (A-A), de la recta a-b hasta el extremo del ápice (p), 3) ángulo del ápice (AG-A) con vértice v, 4) longitud ápice al vértice del ángulo (LA-V), 5) longitud del eje mayor del ápice (LMA-A), 6) longitud del eje menor del ápice (LME-A), 7) redondez del ápice ($R-A = 4\pi \cdot \text{área}/\text{perímetro}^2$) (Wilcox et al., 2002), 8) diámetro Feret del ápice $DF-A = \sqrt{(4 \cdot \text{área}/\pi)}$ (Wilcox et al., 2002) y 9) compactación del ápice $CM-A = \sqrt{(4 \cdot \text{área}/\pi)} / \text{longitud del eje mayor}$ (Wilcox et al., 2002).

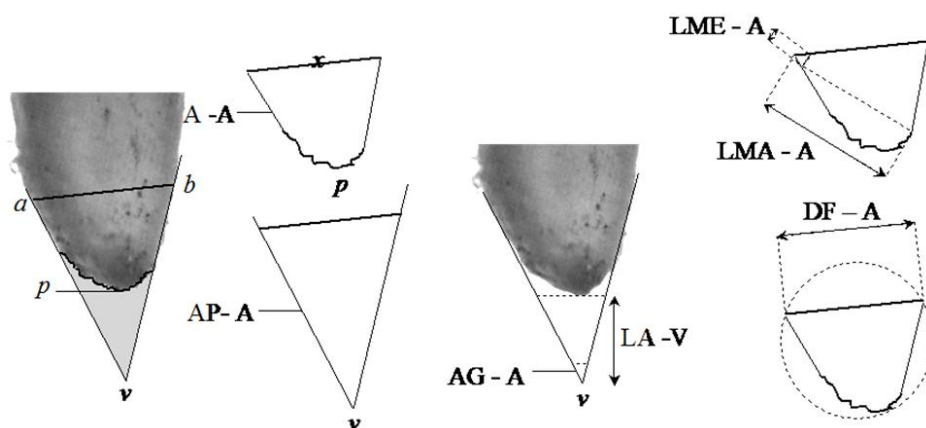


Figura 1. Extremo del ápice (p); vértice (v); A-A: área del ápice; AP-A: área proyectada del ápice; AG-A: ángulo del ápice; LA-V: longitud del ápice al vértice del ángulo; LME-A: longitud del eje menor del ápice; LMA-A: longitud del eje mayor del ápice; DF-A: diámetro Feret del ápice

Las evaluaciones en los tejidos (17 en total) se realizaron a partir del inicio del cilindro vascular, lo cual se usó como indicador de la zona de

madurez (Figura 2).

A 1300 y 2600 µm de distancia de éste, las características evaluadas en µm fueron: 10) grosor

de corteza a 1300 μm (AN-CZ1300), y 11) a 2600 μm (AN-CZ2600), se midió a ambos lados de la corteza por lo que su grosor correspondió al promedio de ambos; 12) grosor del cilindro vascular a 1300 μm (AN-CV1300), y 13) a 2600 μm (AN-CV2600), 14) grosor de rizodermis a 1300 μm (AN-E1300), y 15) a 2600 μm (AN-E2600), 16) grosor de endodermis a 1300 μm (AN-EN1300), y 17) a 2600 μm (AN-EN2600), 18) grosor del periciclo a 1300 μm (AN-

PE1300), y 19) a 2600 μm (AN-PE2600), 20) capas de subrizodermis a 1300 μm (C-S1300) y 21) a 2600 μm (C-S2600), 22) capas del periciclo a 1300 μm (C-PE1300) y 23) a 2600 μm (C-PE2600). Las características 10, 11, 12 y 13 fueron observadas con el microscopio óptico a 100X y las características 14, 15, 16, 17, 18 y 19 se observaron a 400X. Las observaciones se realizaron en la parte en la que se apreciaron mejor los tejidos y se analizaron en la forma ya indicada.

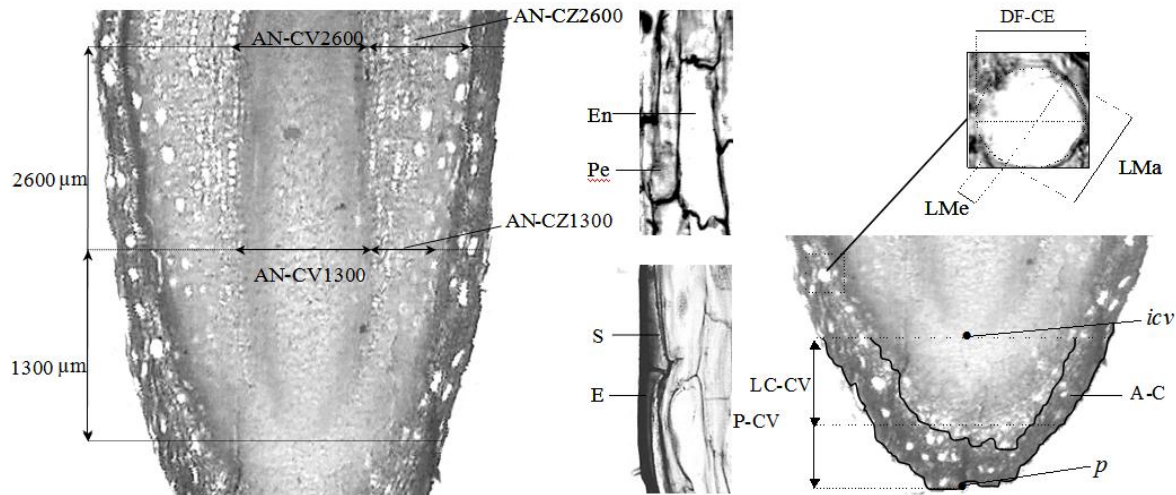


Figura 2. AN-CZ1300 y AN-CZ2600: grosor de corteza a 1300 y 2600 μm ; AN-CV1300 y AN-CV2600: grosor de cilindro vascular a 1300 y 2600 μm ; E: rizodermis; S: subrizodermis; Pe: periciclo; En: endodermis; *p*: punto extremo de la raíz; *icv*: inicio del cilindro vascular; LC-CV: longitud entre cofia y cilindro vascular; P-CV: longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular; A-C: área de cofia; LMa: longitud del eje mayor de la célula; Lme: longitud del eje menor de la célula; DF-CE: diámetro Feret de célula

Para evaluar a la cofia se delimitó una zona que comenzó en el punto extremo de la raíz y hasta donde inicia el cilindro vascular mediante fotografías digitales (observadas con el microscopio óptico a 100X) y se obtuvieron las siguientes características con el analizador de imágenes: 24) longitud entre cofia y cilindro vascular (LC-CV), 25) longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular (P-CV) y 26) área de cofia (A-C).

En fotografías digitales observadas con el microscopio óptico (400X) se obtuvieron las siguientes seis características de las células: 27) área de la célula (A-CE), 28) longitud del eje mayor de la célula (LMA-CE), 29) longitud del eje menor de la célula (LME-CE), 30) índice de redondez de célula ($R-CE = 4 \pi \text{ área} / \text{perímetro}^2$,

31) diámetro Feret de célula ($DF-CE = \sqrt{(4 \text{ área} / \pi)}$) y 32) índice de compactación de célula $CM-CE = \sqrt{(4 \text{ área} / \pi) / \text{longitud del eje mayor}}$.

Análisis estadísticos. Previo a la elección de las variables se efectuó un análisis de regresión múltiple. Luego, utilizando el método de selección de pasos según Johnson (1998) se eligieron del conjunto de variables, aquellas útiles para la discriminación de genotipos, se efectuó un análisis de agrupamiento (clusters) considerando distancias euclidianas entre los agrupamientos y el procedimiento promedio generó un dendrograma jerárquico cuya altura de corte, para formar grupos, fue definida por el criterio cúbico de agrupamiento y pseudoestadística de prueba T^2 . Con el fin de corroborar las agrupaciones fue realizado un análisis discriminante canónico,

donde se utilizaron como variables clasificatorias los grupos propuestos; se calcularon las distancias de Mahalanobis entre grupos y se determinó si fueron estadísticamente diferentes de cero. Las variables canónicas fueron representadas gráficamente y corroborada su asociación con las características utilizadas en el análisis.

Por último, se realizaron análisis de varianza de caracteres individuales, siendo considerados como fuentes de variación los grupos y genotipos aunados en grupos. El cuadrado medio de este último término fue empleado para probar la significación de grupos. Las comparaciones de medias fueron usadas sólo para discriminar grupos mediante la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de variables. Tres características de las 32 registradas no fueron contempladas en el procedimiento de selección de pasos, al establecer que se relacionaban fuertemente con otras variables según el análisis de regresión múltiple; éstas fueron el área proyectada del ápice (AP-A; $r=0,9877$), longitud de eje mayor del ápice (LMA-

A; $r=0,9511$) y longitud de eje menor del ápice (LME-A; $r=0,9305$). El resto de las variables presentaron coeficientes de correlación menores a 0,9.

De los 29 caracteres restantes quedaron 12 después del análisis de selección de pasos. Éstos fueron A-C, P-CV, AN-CZ1300, DF-A, C-PE2600, CM-A, LC-CV, AN-E2600, R-A, C-S1300, LA-V y AG-A. Ningún carácter asociado a la célula quedó seleccionado. Del subconjunto anterior destacaron el área de la cofia (A-C) que brinda protección al meristemo (Esau, 1985), las capas del periciclo a 2600 μm (C-PE2600), tejido encargado de generar raíces laterales (Capon, 1990), el grosor de la rizodermis a 2600 μm (AN-E2600) y las capas de subrizodermis a 1300 μm (C-S1300), características que están relacionadas con la absorción de la raíz.

Agrupamiento de genotipos. El análisis de agrupamiento indicó que los 18 genotipos pueden ser conglomerados en cuatro clases. El dendrograma jerárquico (Figura 3) obtenido de este análisis indicó que con una distancia de corte (σ semiparcial) cercana a 0,65 es posible obtener los cuatro grupos propuestos.

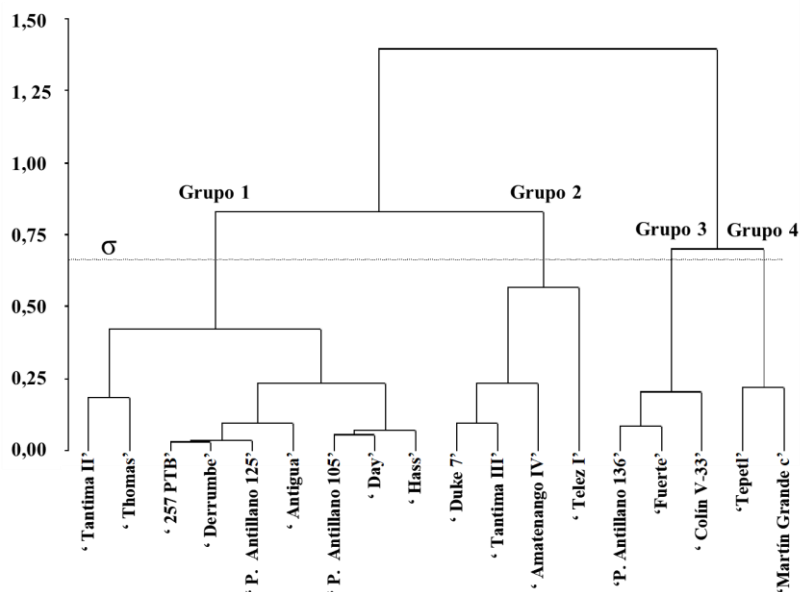


Figura 3. Dendrograma jerárquico de 18 genotipos de aguacate por características anatómicas y morfológicas de ápices de raíz adventicia, mostrando la altura de corte que propone la formación de grupos. σ : altura de corte σ semiparcial

Las características que mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los cuatro grupos

fueron el área de la cofia, la longitud desde el punto extremo de la raíz hasta el cilindro vascular,

y el grosor de la corteza (Cuadro 2). Estos resultados indican que las características que definieron al Grupo 1 fueron una cofia de tamaño medio, longitud media del punto extremo de la raíz al cilindro vascular, así como un valor medio en el grosor de corteza a los 1300 μm . Tales características son intermedias respecto a los demás genotipos por lo que no representan alguna ventaja ya que se esperarían mayores dimensiones para dar mayor protección a factores adversos del suelo. Sin embargo, se concentraron en genotipos con tolerancia a *P. cinnamomi* ('Thomas', 'Day' y 'Antigua') y es de destacar que 'Day' tiene resistencia múltiple a varios factores adversos del

suelo como a salinidad, establecimiento en dunas y alcalinidad (Ben-Ya'acov y Michelson, 1995). Además, genotipos de raza Antillana y '257 PTB' (probables resistentes a salinidad) y el genotipo 'Derrumbe' (cuya progenie es resistente a *P. cinnamomi*), pero es difícil dar una explicación concreta, debido a la integración de 'Hass' que se sabe que es susceptible a factores edáficos adversos. Sin embargo, en Australia, en clones de 'Hass' se ha encontrado que en algunas situaciones con alta infestación de *P. cinnamomi* la planta resiste la infestación e inclusive, se comporta superior a 'Duke' y comparable a 'Velvick' (Smith et al., 2011).

Cuadro 2. Comparación de grupos conforme a características del ápice de raíces adventicias para agrupaciones de 18 genotipos de aguacate

| | A-C (μm^2) | P-CV (μm) | AN-CZ 1300 (μm) | DF-A (mm) | C-PE2600 | CM-A (mm) |
|---------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Grupo 1 | 86700 c | 380,61 b | 220,44 ab | 0,51 a | 1,35 a | 0,65 a |
| Grupo 2 | 121800 b | 360,23 bc | 310,47 a | 0,51 a | 1,67 a | 0,63 a |
| Grupo 3 | 48400 d | 280,36 c | 170,95 b | 0,47 a | 1,45 a | 0,65 a |
| Grupo 4 | 153800 a | 480,61 a | 260,13 ab | 0,66 a | 2,00 a | 0,60 a |
| | LC-CV (μm) | AN-E2600 (μm) | R-A | C-E1300 | LA-V (mm) | AG-A (°) |
| Grupo 1 | 220,10 a | 20,55 a | 0,47 a | 2,09 a | 1,31 a | 61,72 a |
| Grupo 2 | 200,11 a | 20,11 a | 0,49 a | 2,22 a | 0,59 a | 56,79 a |
| Grupo 3 | 160,21 a | 10,84 a | 0,46 a | 1,64 a | 1,03 a | 64,92 a |
| Grupo 4 | 270,58 a | 20,52 a | 0,47 a | 2,25 a | 1,36 a | 70,23 a |

Medias con diferente letra en cada columna difieren de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). A-C: Área de cofia; P-CV: Longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular; AN-CZ1300: Grosor de corteza a 1300 μm ; DF-A: Diámetro Feret del ápice; C-PE2600: Capas del periciclo a 2600 μm ; CM-A: Compactación del ápice; LC-CV: Longitud entre cofia y cilindro vascular; AN-E2600: Grosor de epidermis a 2600 μm ; R-A: Redondez del ápice; C-E1300: Capas de subrizodermis a 1300 μm ; LA-V: Longitud ápice al vértice del ángulo; AG-A: Ángulo del ápice

Cuadro 3. Valores de parámetros del análisis discriminante canónico de las variables morfológicas y anatómicas del ápice de raíces adventicias de 18 genotipos de aguacate

| Componente canónico | Eigen valor | Proporción de varianza | Varianza acumulada | Proporción de similitud | Valor aproximado de F | $P > F$ |
|---------------------|-------------|------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|---------|
| 1 | 9,5864 | 0,8811 (88,11 %) | 0,8811 | 0,0349 | 3,990 | <0,0001 |
| 2 | 1,2289 | 0,1129 (11,29 %) | 0,9940 | 0,1455 | 0,958 | 0,0095 |

Por otra parte, también la asociación de genotipos en el Grupo 2 (valores medio altos en área de cofia, medios en longitud al cilindro vascular y altos en grosor de corteza) no es clara ya que 'Colín V-33' y 'Fuerte' se consideran susceptibles y el 'PA 136' aparentemente tiene

resistencia a salinidad. El Grupo 3 (las tres características con los valores más bajos) es difícil de explicar, con base a tolerancia, ya que en él se encuentran genotipos que aún no se han evaluado y adicionalmente 'Duke 7', considerado como moderadamente tolerante a *P. cinnamomi* (Coffey,

1987; Gallo 1995). El Grupo 4 (valores altos en área de cofia y longitud al cilindro vascular, y medio altos en grosor de corteza) está formado por 'Tepetl' que aparentemente tiene resistencia a *Roselliniane catrrix* y 'Martin Grande c'. Este último se considera como uno de los portainjertos más resistentes a *P. cinnamomi*; sin embargo, con muy poca productividad (Barrientos et al., 2006), además de que este genotipo es un híbrido interespecífico entre *Persea schiedeana* x *Persea americana* (Ellstrand et al., 1986) y no un *Persea americana* como los otros genotipos.

Análisis discriminante canónico. De acuerdo con el análisis discriminante canónico se determinó que dos funciones canónicas representaron el 88 y 11 % de la variabilidad de los datos (Cuadro 3), respectivamente.

Los valores altos de la variable canónica 1

(Can 1) es referida a ápices de los genotipos con valores altos para: área de cofia (A-C), longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular (P-CV) y grosor de la corteza a 1300 μm (AN-CZ1300), y de valores medios el diámetro Feret del ápice (DF-A) y capas del periciclo a 2600 μm (C-PE2600).

La variable canónica 2 (Can 2), sólo con ángulo de ápice (AG-A). Algunas características de la raíz, representativas en este estudio, se podría pensar que sean deseables bajo condiciones edáficas específicas, como presencia de *P. cinnamomi* donde el grosor de la corteza puede ser obstáculo para la penetración de las hifas antes de llegar a la zona de alargamiento (M'Billaut, 1978) y área de cofia y ángulo de ápice podrían favorecer la penetración en suelos compactados (Capon, 1990).

Cuadro 4. Coeficientes canónicos y sus correlaciones lineales con las variables discriminantes del ápice de raíces adventicias de 18 genotipos de aguacate

| Variables | Coeficientes canónicos | | Correlaciones lineales | |
|--|------------------------|----------|------------------------|--------|
| | Can 1 | Can 2 | Can 1 | Can 2 |
| Área de cofia | 0,998842 | -0,00724 | 0,96** | -0,007 |
| Ángulo del ápice | 0,84512 | 0,94766 | 0,04 | 0,49* |
| Longitud de ápice al vértice del ángulo | -0,214147 | 0,16899 | -0,08 | 0,07 |
| Índice de redondez del ápice | 0,53804 | -0,71151 | 0,16 | -0,22 |
| Diámetro Feret del ápice | 0,873969 | 0,48004 | 0,46* | 0,26 |
| Índice de compactación del ápice | -0,779678 | -0,36617 | -0,35 | -0,17 |
| Grosor de corteza a 1300 μm | 0,817535 | -0,56644 | 0,52* | -0,37 |
| Grosor de rizodermis a 2600 μm | 0,57781 | 0,36741 | 0,23 | 0,17 |
| Longitud entre la cofia y cilindro vascular | 0,629291 | 0,44270 | 0,31 | 0,22 |
| Longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular | 0,83541 | 0,36377 | 0,66** | 0,30 |
| Capas de subrizodermis a 1300 μm | 0,578377 | -0,21027 | 0,13 | -0,05 |
| Capas de periciclo a 2600 μm | 0,796228 | 0,21357 | 0,45* | 0,12 |

*, **, significativo a una $P \leq 0,06$ y $0,01$, respectivamente. Can 1: variable canónica 1. Can 2: variable canónica 2

Cuadro 5. Distancias de Mahalanobis entre los cuatro grupos propuestos para características de ápices de raíces adventicias de 18 genotipos de aguacate

| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|---|----------|----------|-----------|
| 1 | 0 | 232,20** | 134,13* | 670,28** |
| 2 | | 0 | 687,30** | 337,05* |
| 3 | | | 0 | 1321,00** |
| 4 | | | | 0 |

*, **, significativo a una $P \leq 0,07$ y $0,05$, respectivamente

Referente a área de la cofia se encontró, por su coeficiente canónico, que representó el valor más alto y significativo (Cuadro 4), característica directamente asociada a su tamaño. Se ha demostrado que ésta es una parte fundamental para abrir paso al desarrollo de la raíz, por lo que Moore y Pasieniuk (1984) indicaron que puede existir un mínimo de longitud y/o grosor de la cofia necesaria para que la raíz sea gravitropicamente positiva, por tanto, se desearía ápices con mayor tamaño de cofia.

Los Grupos 1 y 3 fueron los más cercanos entre sí, de acuerdo con las distancias de Mahalanobis (Cuadro 4), si se fusionaran formarían un grupo con algunos portainjertos tolerantes a *P. cinnamomi* ('Day', 'Antigua', 'Thomas' y 'Duke 7'); sin embargo, la distancia real que los separa es significativamente menor de 0,07.

Tomando en cuenta que cada genotipo cuenta con un valor para cada función canónica, estos fueron representados gráficamente (Figura 4) y

utilizando estas variables mediante un sistema de coordenadas el eje de las abscisas corresponde a la función canónica 1 y el de las ordenadas a la canónica 2. Asociando las características (Cuadro 5), los grupos se definen de la siguiente forma: Grupo 1 de ápices medianamente delgados y poco agudos; Grupo 2 de ápices gruesos y más agudos; Grupo 3 de ápices delgados y ligeramente aplanados, y Grupo 4 de ápices gruesos y menos agudos.

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 6), área de cofia (A-C), longitud del extremo de la raíz al cilindro vascular (P-CV), grosor de la epidermis a 1300 μm (AN-CZ1300) y grosor de la epidermis a 2600 μm (AN-E2600), fueron significativos.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 7) sigue destacando el área de la cofia (A-C) porque fue diferente en cada grupo, por lo tanto, la cofia puede ser una estructura que define diferencias entre los grupos propuestos en el presente estudio.

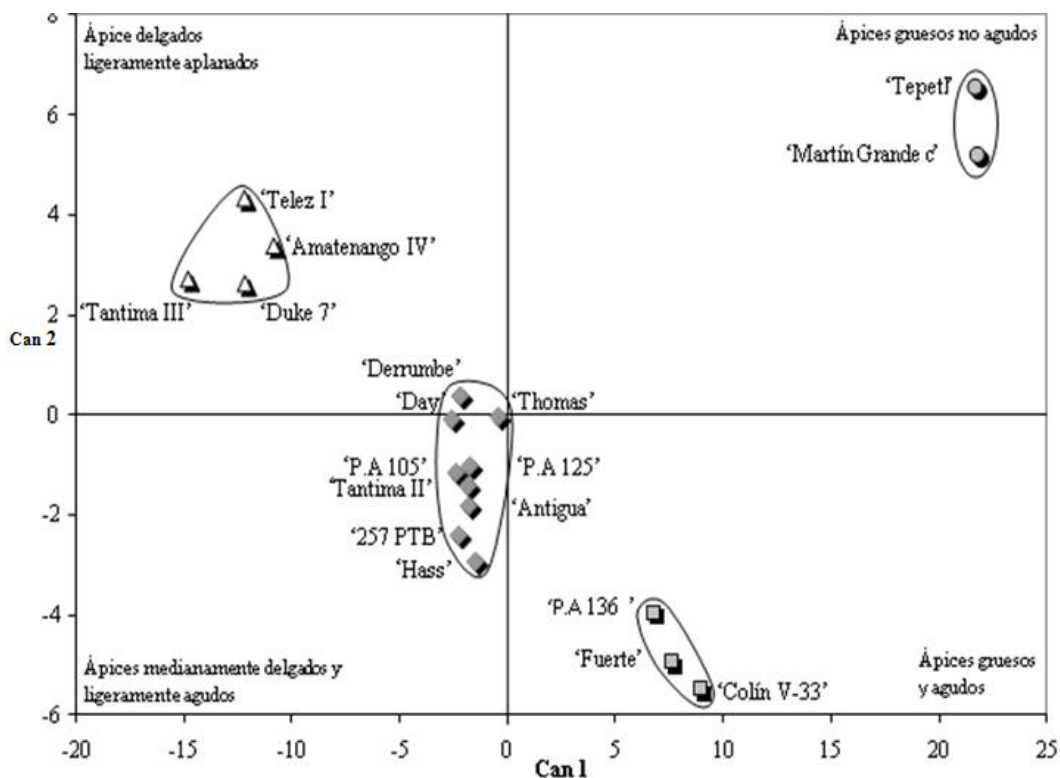


Figura 4. Subespacio bidimensional donde se representa la distribución y agrupamiento de genotipos de aguacate con base a características de los ápices de la raíz adventicia en función de las variables canónicas 1 y 2

Cuadro 6. Grupos formados, con base a características de los ápices de raíces adventicias de 18 genotipos de aguacate de acuerdo con los valores canónicos 1 y canónicos 2

| Grupo | Genotipos | Características |
|-------|---|--|
| 1 | ‘Tatima II’, ‘Thomas’, ‘Day’, ‘257 PTB’, ‘P.A.125’, ‘PA.105’, ‘Antigua’, ‘Hass’, ‘Derrumbe’ | Cofia de tamaño medio, longitud media del punto extremo de la raíz al cilindro vascular, así como grosor de corteza a 1300 µm de tamaño medio; además ángulo del ápice alrededor de la media general |
| 2 | ‘P.A.136’, ‘Colín V-33’, ‘Fuerte’ | De cofia grande, gran longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular, con mayor grosor de corteza a 1300 µm, y de menor ángulo |
| 3 | ‘Duke 7’, ‘Tantima III’, ‘Telez 1’, ‘Amatenango IV’ | De cofia pequeña, con la menor longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular, menor grosor de corteza a 1300 µm; además ángulo moderadamente alto |
| 4 | ‘Tepetl’, ‘Martin Grande c’ | De cofia grande, con la mayor longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular, mayor grosor de corteza a 1300 µm, y mayor ángulo |

Cuadro 7. Cuadrados medios de las características del ápice de raíz adventicia para grupos y genotipos por grupo en 18 genotipos de aguacate

| FV | A-C | | P-CV | | AN-CZ1300 | | DF-A | | C-PE2600 | | CM-A | |
|--------|-----|-------------------|------|-------|-----------|-------|------|---------------------|----------|---------------------|------|---------------------|
| | GL | CM10 ³ | GL | CM | GL | CM | GL | CM 10 ⁻³ | GL | CM 10 ⁻² | GL | CM 10 ⁻⁴ |
| GRU | 3 | 1327,954 * | 3 | 414 * | 3 | 284 * | 3 | 36,97 | 3 | 56,75 | 3 | 28,20 |
| G(GRU) | 14 | 273,21 | 14 | 43 | 14 | 83 | 14 | 25,95 ** | 14 | 38,89 * | 14 | 27,96 * |
| Error | 24 | 184,491 | 24 | 102 | 27 | 32 | 29 | 6,95 | 25 | 15,33 | 29 | 10,31 |
| Total | 41 | | 41 | | 44 | | 46 | | 42 | | 46 | |

| FV | LC-CV | | AN-E2600 | | R-A | | C-E1300 | | LA-V | | AG-A | |
|--------|-------|--------------------|----------|---------|-----|---------------------|---------|---------------------|------|---------------------|------|-------|
| | GL | CM 10 ³ | GL | CM | GL | CM 10 ⁻⁴ | GL | CM 10 ⁻³ | GL | CM 10 ⁻² | GL | CM |
| GRU | 3 | 150,4 | 3 | 1,725 * | 3 | 23,79 | 3 | 1,004 | 3 | 14,66 | 3 | 215,9 |
| G(GRU) | 14 | 91,3 | 14 | 1,181 | 14 | 39,63 | 14 | 1,881 ** | 14 | 15,94 | 14 | 146,2 |
| Error | 24 | 78,4 | 25 | 1,034 | 27 | 21,51 | 27 | 0,531 | 29 | 26,25 | 29 | 79,12 |
| Total | 41 | | 42 | | 44 | | 44 | | 46 | | 46 | |

FV: Fuente de variación; GRU: Grupo; G: genotipo; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medios; *, **, significativo a una $P \leq 0,05$ y $0,01$, respectivamente. A-C: Área de cofia; P-CV: Longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular; AN-CZ1300: Grosor de corteza a 1300 µm; DF-A: Diámetro Feret del ápice; C-PE2600: Capas del periciclo a 2600 µm; CM-A: Compactación del ápice; LC-CV: Longitud entre cofia y cilindro vascular; AN-E2600: Grosor de epidermis a 2600 µm; R-A: Redondez del ápice; C-E1300: Capas de subrizodermis a 1300 µm; LA-V: Longitud ápice al vértice del ángulo; AG-A: Ángulo del ápice.

CONCLUSIONES

El área de cofia, longitud del punto extremo de la raíz al cilindro vascular y el grosor de la corteza a 1300 µm favorecieron la discriminación de 18 genotipos de aguacate, los cuales pudieran estar asociados con la resistencia de la raíz ante factores adversos del suelo. Sin embargo, las agrupaciones no tuvieron asociación decisiva con este comportamiento de resistencia de los genotipos, aunque se logró congregar genotipos resistentes a

múltiples factores, como es el caso del Grupo 1 que presentaron cofia de tamaño medio, longitud media del punto extremo de la raíz al cilindro vascular, así como grosor de corteza a 1300 µm de tamaño medio.

LITERATURA CITADA

1. Barrientos-Priego, A.F. 2017. Presente y futuro de los portainjertos y variedades de aguacate en el mundo y México. *In*: Salazar-García y

- Barrientos-Priego (eds.). Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate. Asociación de Productores y Exportadores de Jalisco (APEAJAL). Ciudad Guzmán, Jalisco, México. pp. 2-15.
2. Barrientos-Priego, A., R. Muñoz-Pérez, M. Borys y Ma. Martínez-Damián. 2006. Taxonomía, cultivares y portainjertos. In: D. Téliz y A. Mora (eds.). El Aguacate y su Manejo Integrado. Mundi-Prensa. México D.F. pp. 30-62.
 3. Ben-Ya'acov, A. y E. Michelson. 1995. Avocado rootstocks. Horticultural Reviews 17: 381-429.
 4. Campos Rojas, E. y P. Bautista. 2001. Propagación clonal de aguacatero *Persea americana* Mill. Memoria del 1^{er} Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate. Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Uruapan, México. pp. 58-66.
 5. Capon, B. 1990. Botany for Gardeners an Introduction and Guide. Timber Press. Oregon, USA. 220 p.
 6. Coffey, D.M. 1987. *Phytophthora* root rot of avocado an integrated approach to control in California. California Avocado Society Yearbook 71: 121-132.
 7. Ellstrand, C., J. Lee, B. Bergh, M. Coffey y G. Zentmyer. 1986. Isozymes confirm hybrid parentage for 'G 755' selections. California Avocado Society Yearbook 70: 199-203.
 8. Esau, K. 1985. Anatomía Vegetal. Editorial Omega. Barcelona, España. 729 p.
 9. Frolich, E. y R. Platt. 1971. Use of the etiolation technique in rooting avocado cuttings. California Avocado Society Yearbook 55: 97-109.
 10. Gallo, L. y F. Siverio. 1995. Evaluation of West Indian avocado seedlings's tolerance-resistance to *Phytophthora cinnamomi* Rands compared with clonal resistant rootstocks Duke 7, Thomas and Toro Canyon, under field conditions. Proceedings of the World Avocado Congress III. ARO The Volcani Center. Tel Aviv, Israel. pp. 396-399.
 11. González-Calderón, V., A. Barrientos-Priego, C. Núñez-Colín, S. Ramírez-Ramírez, R. Hofshi y M.L. Arpaia. 2011. Anatomía de la lámina de hoja en ocho cultivares de aguacate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2(5): 733-744.
 12. Johnson, D.E. 1998. Métodos Multivariados aplicados al Análisis de Datos. International Thomson Editores. México, D.F. 566 p.
 13. M'Billaut, G. 1978. Brown root rot of avocados. Histological examination of root penetration and infection by *Phytophthora cinnamomi* Rands. Fruits 33(2): 107-115.
 14. Moore, R. y J. Pasieniuk. 1984. Gravidresponiveness and cap dimensions of primary and secondary roots of *Ricinus communis* Palmacristi (*Euphorbiaceae*). Canadian Journal of Botany 62: 1767-1769.
 15. Neilsen, M.J. 2016. Evaluation of *Phytophthora* root rot resistance in avocado. Tesis, Queensland Alliance for Agriculture and Food Innovation. The University of Queensland. Brisbane, Australia. 176 p.
 16. Phillips, D., R. Grant y G. Weste. 1987. Histological changes in the roots of an avocado cultivar, Duke 7, infected with *Phytophthora cinnamomi*. Phytopathology 77: 691-698.
 17. Sass, J.E. 1968. Botanical Microtechnique. The Iowa State University Press. Ames, USA. 227 p.
 18. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Avance de siembras y cosechas por cultivo. México, DF. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ (consulta del 2/10/2017)
 19. Smith, L., E. Dann, K. Pegg, A. Whiley, F. Giblin, V. Doogan y R. Kopittke. 2011. Field assessment of avocado rootstock selections for resistance to *Phytophthora* root rot. Australasian Plant Pathology 40(1): 39-47.
 20. Wilcox, C., S. Dove, W. Doss y D. Greer. 2002. UTHSCSA Image Tool: IT version 3.0. Department of Dental Diagnostic Science, Health Science Center, University of Texas. San Antonio, TX, USA. 57 p.